

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Sledování elektrického odporu odporové vrstvy
inteligentního nástroje

Monitoring Electrical Resistance of Resistor Layer of
Intelligent Tools

Student:

Petr Dvouletý

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.

Ostrava 2012

Zadání bakalářské práce

Student: **Petr Dvouletý**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: Sledování elektrického odporu odporové vrstvy inteligentního nástroje
Monitoring Electrical Resistance of Resistor Layer of Intelligent Tools

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Teoretický rozbor problematiky.
3. Zpracování naměřených hodnot.
4. Vyhodnocení experimentu.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] KOCMAN, K.; PROKOP, J. *Technologie obrábění*. Brno : Akademické nakladatelství CERM s.r.o. Brno. 2001, 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
[2] VASILKO, K.; NOVÁK-MARCINČIN, J.; HAVRILA, M. *Výrobné inžinierstvo*. Prešov : Datapress Prešov. 2003, 424 s. ISBN 80-7099-995-0.
[3] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. s. 343. ISBN 978-80-8070-711-8.
[4] HUMÁR, A. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. Brno : CCB, s.r.o. Brno, 1995. 265 s. ISBN 80-85825-10-4.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012


doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.
vedoucí katedry





prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.


V Ostravě dne 10. 5. 2012


.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 10. 5. 2012


.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Petr Dvouletý

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Mistřice 399, 687 12 Bílovice

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ BRÁCE

DVOULETÝ, Petr. *Sledování elektrického odporu odporové vrstvy inteligentního nástroje : Bakalářská práce*. Ostrava : VŠB- Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2012, 42s.

Vedoucí práce: Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.

Tato bakalářská práce se zabývá sledováním elektrického odporu u inteligentního nástroje z nitridické keramiky s nanesenou odporovou vrstvou. V první části práce je teoreticky rozebrána řezná keramika, opotřebení nástrojů a elektrický odpor. Hlavní část se zabývá rozбором experimentu a zpracování naměřených dat, které byly získány při soustružení. V závěru jsou pak shrnuty výsledky měření.

ANNOTATION OF THESIS

DVOULETÝ, Petr. *Monitoring Electrical Resistance of Resistor Layer of Intelligent Tools* : Bachelor thesis. Ostrava : VŠB- Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Working and Assembly, 2012, 42p.

Thesis head: Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.

This thesis deals with monitoring the electrical resistance of intelligent tools of nitride ceramics with coated a resistive layer. The first part is theoretically dismantled cutting ceramic, tool wear and electrical resistance. The main part deals with analysis of the experiment and processing of measured data obtained during turning. In conclusion then summarizes the results of measurements.

Obsah bakalářské práce:

1	ÚVOD	8
2	ŘEZNÁ KERAMIKA.....	9
2.1	Historický vývoj.....	9
2.2	Vlastnosti řezné keramiky	10
2.3	Výroba řezné keramiky	12
2.4	Rozdělení a značení řezné keramiky.....	14
3	OPOTŘEBENÍ NÁSTROJŮ	14
3.1	Mechanismy opotřebení řezných nástrojů	14
3.2	Kvantifikace opotřebení.....	16
3.3	Typy opotřebení břitů nástrojů.....	17
3.4	Metody zjišťování otupení obráběcího nástroje.....	20
4	ELEKTRICKÝ ODPOR.....	21
5	VLASTNÍ EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ	23
5.1	Stroj.....	23
5.2	Vyměnitelná břitová destička.....	24
5.3	Držák VBD	24
5.4	Záznamové zařízení	25
5.5	Materiály používané při experimentu	25
6	POSTUP EXPERIMENTU	27
6.1	Řezné podmínky při experimentu	27
6.2	Materiál A – ocel 13 781.....	30
6.3	Materiál B – ocel 13 985.....	33
6.4	Materiál C – ocel 13 864.....	36
7	ZÁVĚR	39
7.1	Doporučení pro další zkoumání	40

Seznam použitých značek a symbolů:

TS	tlakově slinováno	[-]
RS	reakčně slinováno	[-]
VB	opotřebení hřbetu	[mm]
VB _C	opotřebení hřbetu v oblasti špičky	[mm]
VB _{max}	maximální opotřebení hřbetu	[mm]
VB _N	vrubové opotřebení hřbetu	[mm]
KT	hloubka žlábků opotřebení čela	[mm]
KB	šířka žlábků opotřebení čela	[mm]
R	elektrický odpor	[Ω]
U	elektrické napětí	[V]
I	elektrický proud	[A]
ϱ	měrný elektrický odpor	[Ω.m]
l	délka vodiče	[m]
S	průřez vodiče	[m ²]
VBD	vyměnitelná břitová destička	[-]
a _p	hloubka řezu	[mm]
f	posuv	[mm]
α	teplotní součinitel elektrického odporu	[K ⁻¹]
R ₀	počáteční odpor	[Ω]
ØD	soustružený průměr	[mm]
Δθ	teplotní rozdíl	[K]
v _c	řezná rychlost	[m.min ⁻¹]
L	délka řezu	[mm]
n	otáčky	[min ⁻¹]
Al ₂ O ₃	oxid hlinitý	[-]
ZrO ₂	oxid zirkoničitý	[-]
ThO ₂	oxid thoričitý	[-]
BeO	oxid berylnatý	[-]
MgO	oxid hořečnatý	[-]
UO ₂	oxid uraničitý	[-]
B	chem. označení boru	[-]
TiC	karbid titanu	[-]

1 ÚVOD

Trvalým dlouhodobým směrem rozvoje ve všech výrobních strojírenských odvětvích je automatizace výrobního procesu. Automatizace výroby přispívá ke zvyšování produktivity a současně snižování výrobních nákladů. Velký vliv na výrobní náklady má i trvanlivost nástroje. Rozptyl trvanlivosti nástroje ovlivňují řezné podmínky. Ve většině případů nastává výměna před uplynutí trvanlivosti řezného nástroje i v případě, že je ještě nástroj schopný řezu v požadované kvalitě. A to také proto, že by se z důvodu kontroly velikosti opotřebení musel zastavit proces obrábění a tím by se prodražily celkové časy a náklady na výrobu. Právě proto nabývá na důležitosti monitorování stavu opotřebení vyměnitelné břitové destičky přímo v řezu.

Metoda měření opotřebení inteligentního nástroje s nanesenou odporovou vrstvou je velmi jednoduchá, a díky její schopnosti ihned po vyjetí z řezu okamžitého zjištění otupení nástroje by se do budoucna mohla stát běžnou diagnostikou míry opotřebení nástroje během obrábění. A tím by se docílilo využívání celé trvanlivosti obráběcího nástroje a zkrácení vedlejších časů z důvodu méně časté výměny nástroje. U těchto nástrojů je trvanlivost závislá na průřezu nanesené odporové vrstvy. Jakmile dojde k přerušení této vrstvy, je docíleno stanovené kritické hodnoty opotřebení a nástroj je potřeba vyměnit.

2 ŘEZNÁ KERAMIKA

V současnosti je název keramika pojmenováním velkého počtu různých řezných materiálů. Původně se pod pojmem keramika rozuměl oxid hlinitý (Al_2O_3) jeho použití jako řezného materiálu sahá hluboko do minulosti. Starší druhy nástrojů z tvrdých oxidů byly velmi křehké a s ohledem na špatnou kvalitu jejich výroby a v důsledku chybného doporučení pro jejich použití byla jejich trvanlivost velmi krátká, takže byly prakticky nepoužitelné [1].

Keramika je moderní definicí obecně charakterizována převážně jako krystalický materiál, jehož hlavní složkou jsou anorganické sloučeniny nekovového charakteru. Tato definice zahrnuje nejen tradiční keramiku (porcelán, cement, cihly), ale i brousicí materiály a řadu speciálních, konstrukčních, strojírenských, průmyslových, příp. jinak nazývaných keramických látek, jako je oxidová keramika (Al_2O_3 , ZrO_2 , ThO_2 , BeO , MgO , UO_2), ferity, feroelektrika, nitridy (na bázi Si, B, Al), karbidy (na bázi Si, B), boridy (na bázi Ti) a další. Pro novou keramiku je charakteristické to, že je vyráběna z poměrně čistých surovin a často z čistých výchozích chemikálií, jako keramika syntetická. Většina látek zařazovaných pod pojem „nová keramika“ jsou látky krystalické na rozdíl od tradiční keramiky (např. porcelán, glazury), která obsahuje i značný podíl skelné (amorfní) fáze. Keramické látky jsou vázány meziatomovými vazbami iontovými a kovalentními, jejich vazba ale není čistě iontová nebo čistě kovalentní, obvykle se vyskytují oba typy vazby současně [2].

Keramické řezné materiály jsou tvrdé, mají vysokou tvrdost za vysokých teplot a nereagují chemicky s obráběným materiálem. Zaručují dlouhou trvanlivost nástroje a mohou být používány při vysokých řezných rychlostech. Při správném používání je možné dosáhnout mimořádně velkého množství odebraného materiálu [1].

2.1 Historický vývoj

Počáteční úvahy o využití keramiky Al_2O_3 pro výrobu řezného nástroje byly poprvé diskutovány v Německu v roce 1905. První komerčně dostupný keramický materiál na bázi Al_2O_3 , použitelný pro řezný nástroj pod označením “Degussit“ vyvinula německá firma Degussa v období druhé světové války [3].

Výzkumu a vývoji keramických řezných materiálů se na našem území věnoval Výzkumný ústav minerálů v Turnově, kde byly první keramické břitové destičky

laboratorně vyrobeny již v roce 1954. Technologickým výzkumem aplikací keramických materiálů pro obrábění se ve druhé polovině 70. let minulého století zabývala pracoviště VÚEK Hradec Králové a pracoviště DIAS Turnov. Do konce 50. let byly aplikační možnosti prvních keramických materiálů vzhledem k vysoké křehkosti omezeny pouze na nepřerušované řezání. Pevnost v ohybu se pohybovala v rozsahu 400÷500 MPa [3].

Materiály vyráběné metodou vysokoteplotního lisování byly vyvinuty začátkem 70. let 20. století a měly zlepšit odolnost proti vydrolování a spolehlivost keramických řezných nástrojů. Keramiky typu $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$ byly vyráběné metodou vysokoteplotního lisování a měli zlepšit odolnost proti vydrolování. Ohybová pevnost vzrostla na 1000 MPa. Slinovací proces byl postupně změněn z vysokoteplotního lisování na vysokoteplotní izostatické lisování aby se snížila cena a zvýšila produktivita[3].

Ve druhé polovině 80. let byly vyvinuty kompozity Al_2O_3 vyztužené vlákny SiC (whiskery). Jejich ohybová pevnost je stejná jako u keramik typu $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$, lomová houževnatost je mnohem vyšší. Řezná keramika na bázi Si_3N_4 se začala vyrábět na začátku 80. let. Vlastnosti tohoto materiálu byly známy již delší dobu ale až v 80. letech byly k dispozici vhodné výchozí suroviny, technologie a zařízení umožňující dosáhnout vysokých teplot a tlaků nutných pro výrobu řezných nástrojů z nitridu křemíku [3].

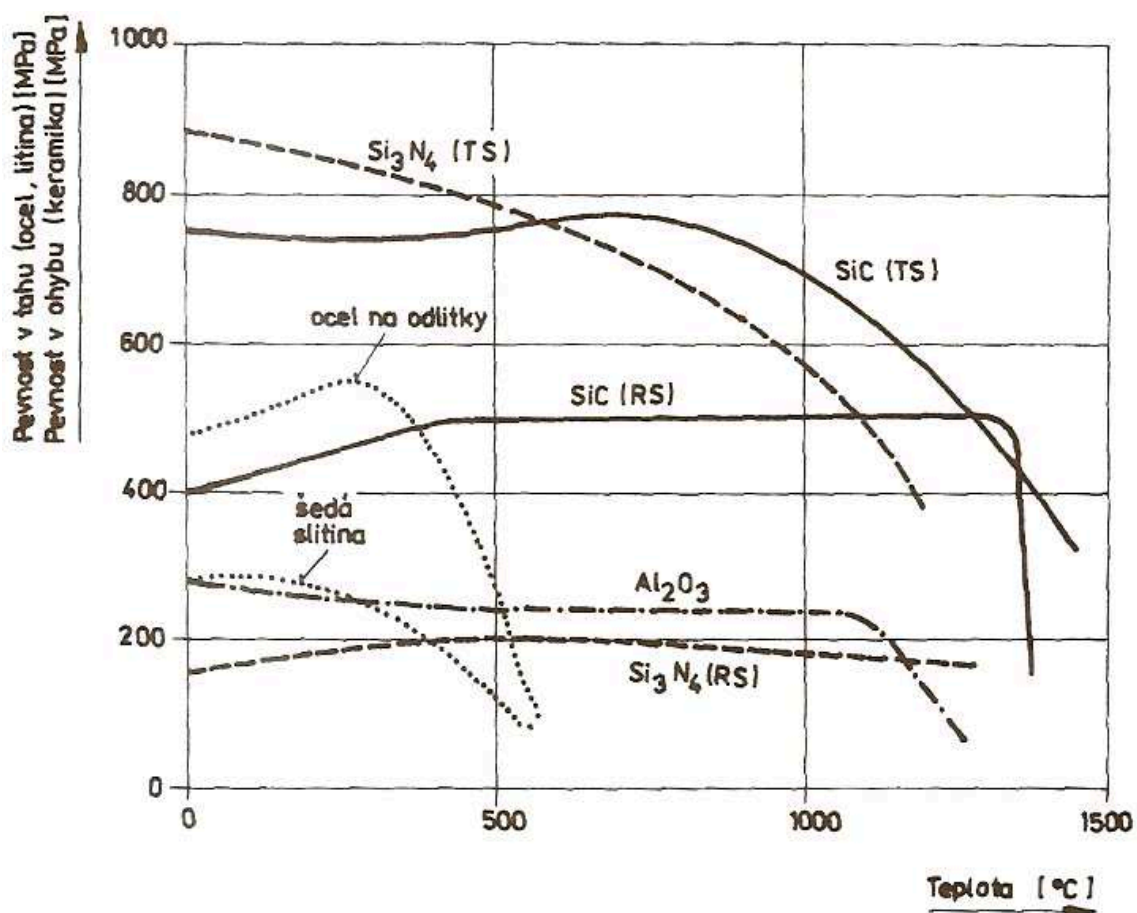
2.2 Vlastnosti řezné keramiky

Keramika je polykrystalický materiál se zrny malých rozměrů (velmi často pod 1 μm) a vyznačuje se zejména vysokou tvrdostí, nízkou houževnatostí a nízkou měrnou hmotností. Tyto faktory, spolu s dalšími jako je struktura, tepelná vodivost, délková roztažnost, omezená tvárnost, určují finální mechanické vlastnosti a potenciální aplikační možnosti tohoto materiálu. Omezená tvárnost má rozhodující a přitom degradační roli z hlediska možnosti dosažení maximálních hodnot mechanických vlastností [2].

Typickou mechanickou vlastností keramiky je křehkost, keramika není prakticky schopna plastické deformace a porušuje se křehkým lomem, tj. nestabilním rychlým štěpným lomem s malou absorpcí energie. Chybí jí tedy typické vlastnosti pro kovy, jako je tvárnost (schopnost značné plastické deformace) a houževnatost (silná absorpce energie při porušování) [2].

Mezi další příčiny křehkosti keramik patří např. nedokonalé slinutí a pórovitost, ale tyto vlivy lze dostatečně omezit, případně úplně odstranit [2].

Ohybová pevnost keramik klesá s teplotou, z počátku velmi pozvolna (popř. ještě poněkud narůstá), za vysokých teplot rychleji. I když keramické materiály mají za studena většinou nižší pevnost než materiály kovové, uchovávají si ji až do značně vysokých teplot, kdy u kovů již dochází k prudkému poklesu pevnosti [2]. Závislost ohybové pevnosti keramiky na teplotě je znázorněná na obr. 2.1.



Obr. 2.1 Závislost ohybové pevnosti keramiky na teplotě [2]
(TS-tlakově slinováno, RS-reakčně slinováno)

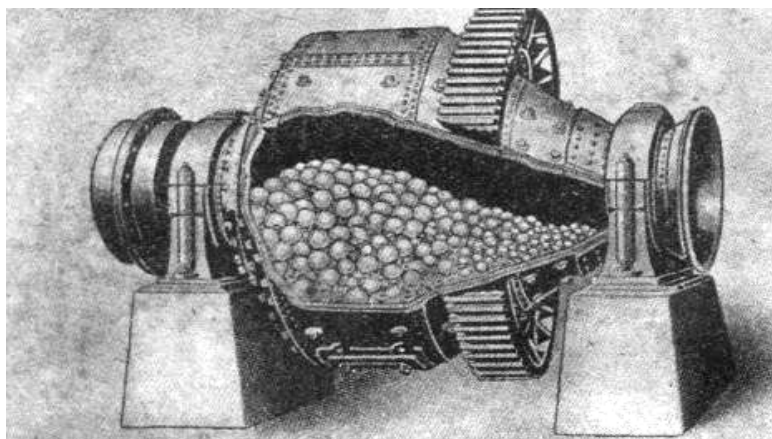
2.3 Výroba řezné keramiky

Proces výroby vyměnitelných břitových destiček pro řezné nástroje je velmi podobný procesu výroby součástí ze slinutých karbidů a cermetů (např. příprava práškové směsi, mletí, míchání, tvarování, sušení, předslinování, slinování, tepelné zpracování a úpravy povrchu). Podstatný rozdíl je ale vtom, že keramické výrobky neobsahují žádný materiál, jehož funkcí by bylo spojení zrn tvrdé fáze do jednotlivého tělesa. Tato skutečnost celou výrobu keramických materiálů výrazně znesnadňuje a klade velmi velké nároky na výrobní zařízení ale i na dodržení všech předepsaných parametrů technologického postupu výroby [2].

Vývoj mikrostruktury a slinovatelnost keramických materiálů je možné ovlivnit přidáním přísad, které v průběhu slinování vytvářejí kapalnou fázi. Tímto způsobem lze dosáhnout hustějšího uspořádání částic při slinování a lepší a rychlejší zhutnění výrobky[2].

Obecný postup výroby keramických materiálů:

- **Příprava práškové směsi-** Cílem je získat z různých vhodných surovin homogenní hmotu. Důležité je zvolit správný poměr a kvalitu těchto jednotlivých prášků, protože právě tyto vlastnosti prášku v konečném důsledku spoluurčují průběh slinování a tím dosažené fyzikální a mechanické vlastnosti konečného produktu [4].
- **Mletí, míchání-** Směs prášků se vloží do mlýnice, kde jsou vloženy korundové koule různých velikostí. Mletím dojde k rozdrčení křehkých shluků zrn na požadovanou zrnitost. Proces mletí a následně míchání (homogenizace) trvá 24-72 hodin [4].



Obr. 2.2 Hardingův mlýn [5]

- **Tvarování a sušení-** Rozlišujeme dva základní způsoby tvarování vyměnitelných břitových destiček: vakuová extruze a lisování
 - Vakuová extruze- Semletý prášek nasypeme do hnětače a přidají se tzv. organika (např. petrolej, kyselina olejová, apod.). Poté se pomalu hněte a pomalu se přidávají další přísady až do správné konzistence výsledné hmoty, tento proces trvá až dva dny. Následuje vytlačení (extruze) tyčí, které mají budoucí tvar břitové destičky. Následuje volné sušení z důvodu odstranění organických činidel. Tento proces trvá až 3 měsíce. Po vysušení následuje ohřev na teplotu 180°C, výdrži po dobu dvou týdnů a následně pomalé ochlazování. Následuje řezání tyčí diamantovými kotouči na požadovanou tloušťku destičky.
 - Lisování- Proces probíhá na lisech s oboustranným tlakem, aby bylo zaručeno co nejlepší zhutnění polotovaru ve všech směrech [4].
- **Předslinování a slinování-** je to zhutňovací postup navzájem se dotýkajících částic krystalů které vlivem tepla krystaly polotovarů srůstají. Teplota slinování u řezné keramiky na bázi oxidu hlinitého je kolem 1550°C po dobu 10 hodin. Aby byl proces slinování co možná nejkvalitnější, je ho nutné přesně řídit a po celou dobu kontrolovat nejen dobu a teplotu slinování ale např. i ochranné atmosféry. Jen tak se dají vyrobit materiály velmi hutné, neporézní s jemným zrněním [4].
- **Úprava povrchu-** Úpravou povrchu se rozumí broušení slinutých nebo žárově lisovaných destiček na planetových bruskách. Z důvodu poměrně vysoké tvrdosti keramických materiálů je nutné používat diamantové brusiva. Pomocí CNC brusek se na ostří brousí zpevňující ochranná fazetka [4].
- **Kontrola-** Na závěr je důležité vyměnitelné břitové destičky důkladně odmastit a podrobit výstupní kontrole [4].

2.4 Rozdělení a značení

Pro dělení a značení keramických řezných materiálů není konkrétní norma (jako je tomu např. u slinutých karbidů), všeobecně je v praxi přijímáno následující dělení:

- Oxidová keramika: -čistá ($99,5\% \text{Al}_2\text{O}_3$)
-polosměsná ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$, $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{CoO}$)
-Směsná keramika ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{TiC}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC} + \text{TiN}$)
- Nitridová keramika: -(Si_3N_4 , $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Y}_2\text{O}_3$, $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{TiN}$, sialony) [2].

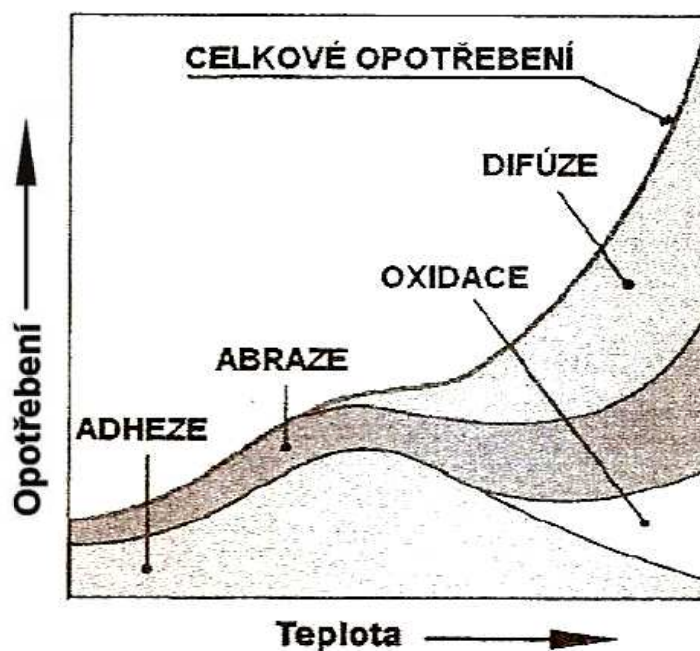
3 OPOTŘEBENÍ NÁSTROJŮ

Opotřebením se mění výchozí tvar a kvalita ostří i pracovních ploch břitu. S rostoucím opotřebením se pak mění rozměry obrobků, zhoršuje se jakost obrobené plochy a zpravidla se zvyšují řezné odpory a teplota [6].

Obráběný materiál a odcházející tříska namáhají břit nástroje tepelně a mechanicky. Opotřebení závisí především na fyzikálních a mechanických vlastnostech obráběného a nástrojového materiálu, řezných podmínkách, geometrii nástroje a na druhu práce. Třecí účinky třísky a obráběného materiálu i vysoká teplota způsobují při práci postupné opotřebování břitu nástroje až k jeho úplnému otupení, kdy nástroj ztrácí svoji schopnost řezat [7].

3.1 Mechanismy opotřebení řezných nástrojů

Z hlediska výskytu jednotlivých mechanismů na funkčních plochách nástroje vyplývá, že hřbet nástroje se opotřebovává abrazí a oxidací, čelo pak v důsledku adheze, difuze, abraze a oxidace. Křehký lom působí velmi rychle a obvykle způsobí změnu tvaru břitu nástroje, lavinové opotřebení nebo ulomení špice vyměnitelné břitové destičky [8].



Obr. 3.1 Podíl mechanismů opotřebení nástroje v závislosti na teplotě obrábění [8]

K základním mechanismům opotřebení nástrojů patří:

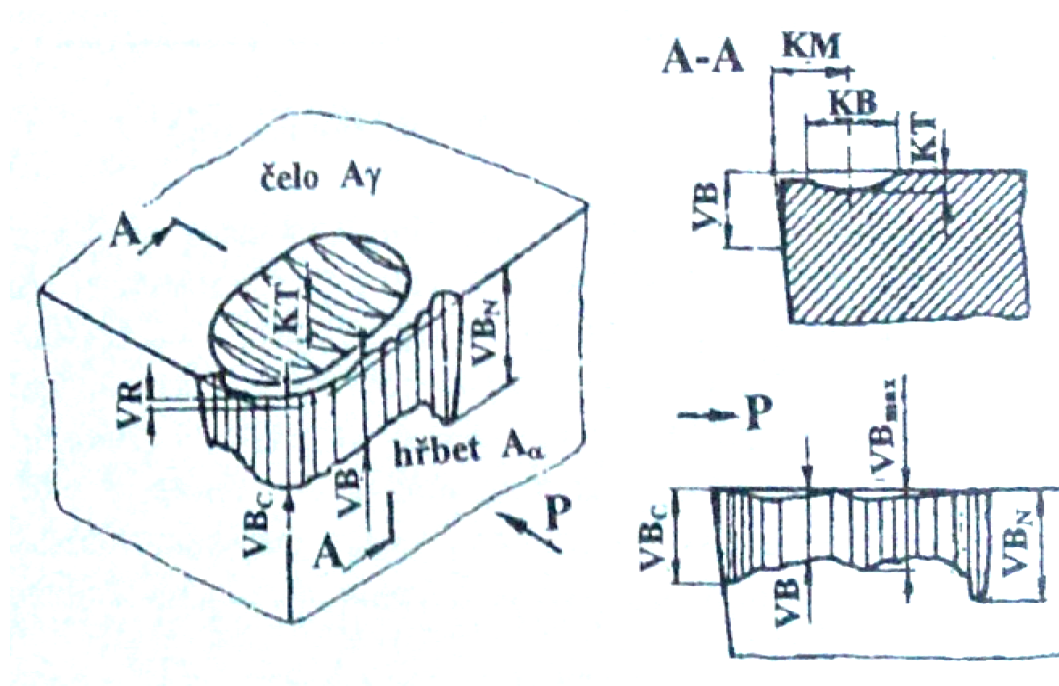
- **Abraze** je obrušování měkčích částic materiálu nástroje tvrdšími částicemi obráběného materiálu. S abrazivním opotřebením se setkáváme převážně u nástrojových ocelí a slinutých karbidů [6].
- **Adheze** se vyskytuje pomocí vzniku mikrosvarů při kluzném tření mezi břitem nástroje a třískou, při působení velkých stykových ploch a vysokých teplot. Vzniklý mikrosvar se následně odděluje, pokud smykové napětí ve spoji překročí kritickou hodnotu. K překročení kritického napětí může dojít přímo ve spoji, v materiálu obrobku nebo v řezném nástroji. Bude-li mít minimální pevnost řezný nástroj, dojde k porušení pod povrchem jeho funkční plochy a vzniká adhezivní opotřebení [6].
- **Difúze** je migrace atomů z obráběného do nástrojového materiálu a naopak. K difuzi železa do kobaltu a kobaltu do železa dochází u slinutých karbidů již při teplotách 680°C, další prvky difundují za vyšších teplot, u titanu 1200-1500°C. Uvolněný uhlík při obrábění oceli přechází do železa, kde vytváří tuhý roztok a je odváděn třískou [8]. Změnou chemického složení povrchové vrstvy řezného nástroje se obvykle zhorší mechanické vlastnosti povrchové vrstvy břitu a její odolnost proti otěru.

- **Křehký lom** je důsledkem vysokého mechanického zatížení nebo krátkodobého přetížení břitu, např. v důsledku nárazu břitu na tvrdou fázi, vměstek v obráběném materiálu, při přerušovaném řezu nebo náhlé změně průřezu třísky[8].
- **Oxidace** se projevuje vznikem chemických sloučenin na povrchu nástroje a důsledku např. přítomnosti kyslíku a oxidace v okolním prostředí [8].
- **Plastická deformace** je důsledkem vysokého tepelného a mechanického zatížení, které se může projevit i ve formě tzv. lavinového opotřebení. Zahrnuje odpevnění substrátu, nebo deformaci pojiva [8].

3.2 Kvantifikace opotřebení

Opotřebení břitu, jako významný parametr řezného procesu se určuje rozměrovými charakteristikami vztaženými k postupnému opotřebení břitu řezného nástroje [9].

Opotřebení na čele nástroje se projevuje ve tvaru žlábků, který se začíná tvořit v určité vzdálenosti od ostří, rovná se přibližně velikosti posuvu nástroje a během soustružení rovnoměrně narůstá. Šířka žlábků narůstá intenzivněji ve směru od ostří, než směrem k ostří [7].

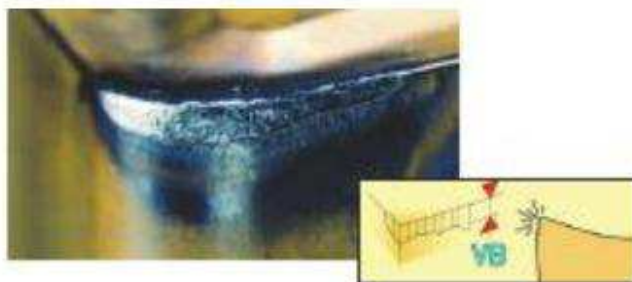


Obr. 3.2 Parametry opotřebení břitu řezného nástroje a jejich značení.[9]

- VB -opotřebení hřbetu průměrné
 VB_C -opotřebení hřbetu v oblasti špičky
 VB_N -opotřebení hřbetu vrubové
 VB_{max} -opotřebení hřbetu maximální
 KT -hloubka žlábků opotřebení čela
 KB -šířka žlábků opotřebení čela
 KM -poloha středu žlábků opotřebení čela
 VR -radiální opotřebení špičky

3.3 Typy opotřebení břitů nástrojů

Opotřebení hřbetu (obr. 3.3) vzniká v důsledku abraze a způsobují ho tvrdé částice v materiálu obrobku. Je jedním z hlavních způsobů opotřebení, jelikož umožňuje dosažení předvídatelné a stabilní životnosti nástroje [10].



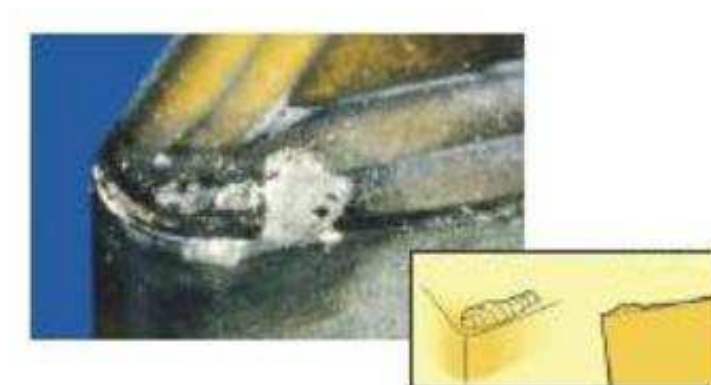
Obr. 3.3 Opotřebení hřbetu [10]

Opotřebení ve tvaru žlábků (obr. 3.4) opotřebení vzniká na čelní ploše břitové destičky, k tomu dochází v důsledku chemické reakce mezi obráběcím nástrojem a materiálem obrobku a jeho účinek se zesiluje s rostoucí řeznou rychlostí. Nadměrné opotřebení ve tvaru žlábků břit zeslabuje a může vést až k jeho lomu [10].



Obr. 3.4 Opotřebení ve tvaru žlábků [10]

Tvorba nárůstku (obr. 3.5) tento typ opotřebení je způsobován tlakovým navařováním částí třísky na vyměnitelnou břitovou destičku. Nejčastěji k němu dochází při obrábění materiálů snadno ulpívajících na břit, jako jsou nízkouhlíkové oceli nebo hliník. Použitím nízkých řezných rychlostí se zvyšuje pravděpodobnost vzniku nárůstku na břitu. Při jeho odtrhávání může dojít k porušení břitu nástroje [10].



Obr. 3.5 Opotřebení břitu tvorbou nárůstku [10]

Opotřebení ve tvaru vrubu (obr. 3.6) Dochází k němu v důsledku tlakového navařování třísek (adheze) a deformačního zpevnění povrchu obrobku. Velmi často se vyskytuje při obrábění korozivzdorných ocelí jak na čele, tak i na hřbetu břitové destičky v oblasti styku břitu nástroje s povrchem obrobku [10].



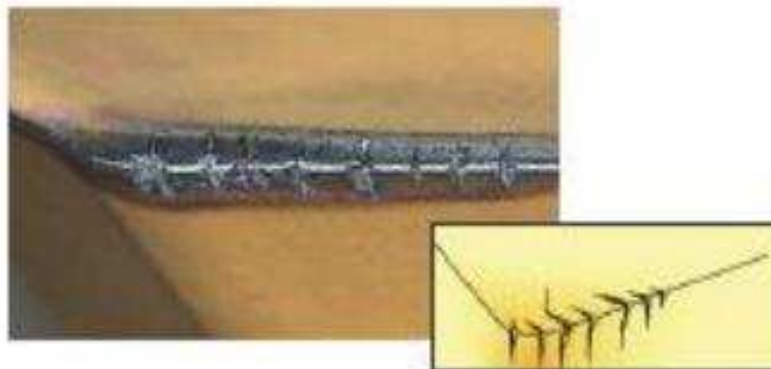
Obr. 3.6 Opotřebení ve tvaru vrubu [10]

Plastická deformace (obr. 3.7) projevuje se v okamžiku, kdy dochází ke změknutí materiálu nástroje. Takový případ nastane, když je řezná teplota příliš vysoká pro danou třídu. Obecně platí, že tvrdší třídy a tenčí povlaky vedou ke zvýšení odolnosti proti plastické deformaci [10].



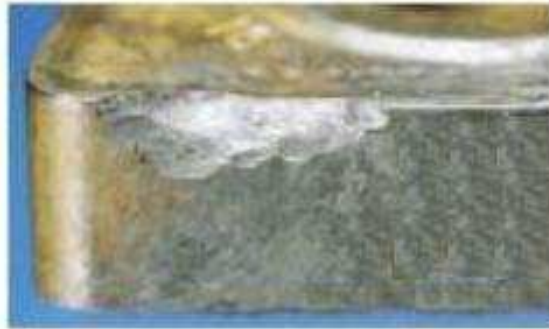
Obr. 3.7 Opotřebení plastickou deformací [10]

Tepelné trhliny (obr. 3.8) souvisejí s přerušovanými řezy, běžnými při frézovacích operacích, a případné použití řezné kapaliny situaci ještě dále zhoršuje. Pokud se teplota břitu velice rychle mění z vysoké teploty na nízkou, mohou se kolmo na břit objevit vícenásobné trhliny [10].



Obr. 3.8 Opotřebení tepelnými trhlinami [10]

Vylamování bříty (obr. 3.9) vylamování nebo celkový lom jsou způsobeny přetížením bříty mechanickým tahovým namáháním. Tato namáhání mohou vznikat z důvodů např. zasekávání třísek, vysoké hodnoty posuvu nebo hloubky řezu. Vměstky písku obsažené v materiálu obrobku, nadměrné opotřebení břitové destičky, vibrace, atd. Lom nástroje je velmi nebezpečný a mělo by se mu zabránit [10].



Obr. 3.9 Opotřebení vylomením bříty [10]

3.4 Metody zjišťování otupení obráběcího nástroje

Pro zjišťování velikosti otupení se používají metody nepřímé i metody přímé.

Nepřímé metody: - vznik lesklého pásku na obrobku,

- zvětšení složek síly obrábění,
- zvýšení výkonu řezání,
- zvýšení teploty řezání (nadměrné jiskření),
- vznik chvění nebo určitého nežádoucího zvuku,
- změna barvy a tvaru třísky,
- změna rozměrů obrobku,
- zhoršení drsnosti povrchu.

Tyto jevy nemusí vždy nastat, většinou ale signalizují nadměrné otupení nástroje, které je už nutné považovat za jeho poškození [11].

Přímé metody: - metoda mikrometrická,

- metoda optická,
- metoda váhová (hmotnostní),
- metoda nanesené odporové vrstvy,
- metoda radioaktivních izotopů,

V průběhu obrábění není snadné přímé metody měření otupení aplikovat z toho důvodu, že řezné plochy nástroje jsou nedostupné pro měřicí přístroje. Ve většině případů se obráběcí nástroj demontuje z nožového držáku, a to potom přináší další změny podmínek obrábění při upnutí a ustavení obráběcího nástroje [11].

4 ELEKTRICKÝ ODPOR

Elektrický odpor se značí R a je to fyzikální veličina charakterizující vlastnost prostředí bránit průchodu elektrickému proudu. Odpor vodiče závisí na jeho materiálu, rozměrech a tvaru [12].

Na základě Ohmova zákona (4.1) elektrický odpor je koeficient úměrnosti mezi elektrickým napětím a proudem v obvodě jednosměrného proudu. [13].

$$R = \frac{U}{I} \quad (4.1)$$

R elektrický odpor [Ω]

U elektrické napětí [V]

I elektrický proud [A]

V tomto experimentu při sledování el. odporu odporovou vrstvou se mění teplota VBD. Závislost el. odporu na teplotě objasňuje rovnice (4.2).

$$R = R_0(1 + \alpha\Delta\theta) \quad (4.2)$$

kde:

R elektrický odpor [Ω]

α teplotní součinitel elektrického odporu [K^{-1}]

R_0 počáteční odpor [Ω]

$\Delta\theta$ Teplotní rozdíl [K]

Měrný elektrický odpor (4.3) je veličina charakterizující schopnost určité látky vést elektrický proud, hodnoty měrného elektrického odporu různých materiálů se dají vyhledat v matematicko-fyzikálních tabulkách.

$$R = \varrho \frac{l}{S} \Rightarrow \varrho = \frac{RS}{l} \quad (4.3)$$

ϱ měrný elektrický odpor [$\Omega.m$]

l délka vodiče [m]

S průřez vodiče [m^2]

R elektrický odpor [Ω]

V praxi se udává měrný odpor jako odpor vodiče dlouhého 1 m o průřezu 1 mm^2 ($\Omega.mm^2m^{-1}$) [12].

5 VLASTNÍ EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

V této části je podrobně popsána soustava SNOP a zařízení použitá pro měření. Experiment probíhal v prostorách laboratoří VŠB-TU Ostrava. V experimentu byly použity 3 různé druhy oceli třídy 13.

5.1 Stroj

Univerzální hrotový soustruh MAŠSTROJ TROJAN C11MV (obr. 5.1). Parametry stroje jsou uvedeny v (tab. 5.1).



Obr. 5.1 Použitý obráběcí stroj

Tab. 5.1 Parametry použitého stroje.

Vzdálenost hrotů	1100 mm
Průměr sklíčidla	Ø250/315 mm
Oběžný průměr nad ložem	500 mm
Oběžný průměr nad suportem	290mm
Zdvih příčného suportu	270 mm
Zdvih podélného suportu	950 mm
Výkon hlavního motoru S1	15 kW

5.2 Vyměnitelná břitová destička

V experimentu byla použita VBD od firmy Kyocera (Obr. 5.2). Tato VBD je vyrobena z řezné keramiky typu KS 6000. Destička je vyrobena z křemíko-nitridické keramiky na kterou je nanесena odporová vrstva, která byla navrhována tak, aby bylo možné využít všech 8 břitů.



Obr. 5.2 Použitá VBD

5.3 Držák VBD

Pro upnutí VBD byl používán speciální držák typu XCSRNR2525M-1207SEN od firmy CERADEx (Obr. 5.3). Držák je zkonstruován pro upnutí VBD čtvercového tvaru a vedení elektrického signálu tělem nože.



Obr.5.3 Držák XCSRNR2525M-1207SEN

5.4 Záznamové zařízení

Signál z držáku VBD je zpracováván datalogerem ALMEMO 2590-4S (Obr. 5.4), který je vybaven vstupy pro připojení až 4 čidel. Dataloger naměřené hodnoty elektrického odporu a teploty zaznamenával po 30 setinách sekundy, které se ukládaly v digitální podobě přímo do počítače.



Obr. 5.4 Dataloger ALMEMO 2590-4S

5.5 Materiály použité při experimentu

Z důvodu utajení obchodních tajemství (ochrany nového materiálu) nebyly sděleny mechanické a chemické vlastnosti. V laboratořích katedry 345 byla změřena tvrdost dle Vickerse.

Materiál A (ocel 13781)

Tento materiál se při experimentu jevil jako dobře obrobitelný. Chvění materiálu se vyskytovalo až při soustružení malých průměrů. Polotovary tvořily dvě tyče o $\varnothing D=100$ mm a délkách $L=380$ mm a $L=370$ mm (Obr. 5.5).



Obr. 5.5 Obrobená ocel 13 781 po ukončení experimentu

Material B – ocel 13 985

Material 13 985 se při porovnání s materiálem 13 781 obráběl hůře. Také se dosáhlo rychleji stanoveného kritéria opotřebení, které bylo stanoveno na šířku nanesené odporové vrstvy. Polotovar tvořila tyč $\varnothing D=102$ mm a délce $L=386$ mm (Obr. 5.6).



Obr. 5.6 Obrobená ocel 13 985 po ukončení experimentu

Material C – ocel 13864

Při obrábění tohoto materiálu se dosahovalo rychlejšího opotřebení nástroje stejně jako u materiálu 13 985. Jen s tím rozdílem že u materiálu 13 864 se dosáhlo lepších jakostí povrchu. Polotovar tvořila tyč $\varnothing D=101$ mm a délce $L=375$ mm (Obr. 5.7).



Obr. 5.7 Obrobená ocel 13 864 po ukončení experimentu

Tab. 5.2 Mechanické vlastnosti použitých materiálů

Materiál	HV 10	Rm [MPa]	HBW
13 781	106	330	103
13 985	123	400	119
13 864	107	350	105

6 POSTUP EXPERIMENTU

V první části experimentu se sledovalo chování elektrického odporu při změnách řezných rychlostí pro ověření, zda mají vyšší řezné rychlosti vliv na chování elektrického odporu. V další části experimentu se již sledoval el. odpor při snaze dodržet stejnou řeznou rychlost i při obrábění menších průměrů. U materiálu A (ocel 13 781) nebylo dosaženo potřebného opotřebení VBD, které by vedlo k přerušení elektrického obvodu. U materiálů B a C (ocel 13 985 a ocel 13 864) se dosáhlo cíleného přerušení elektrického obvodu na VBD. Elektrický odpor i teplota byly zaznamenávány s frekvencí 0,3sekundy a ukládány ve formátu .txt. Záznam všech měřených dat je přiložen na CD v souboru typu .xls.

6.1 Řezné podmínky při experimentu

U materiálu A (ocel 13781) bylo provedeno 7 řezů na totožném průměru s různými řeznými rychlostmi, a následně se pokračovalo v soustružení při snaze dodržovat stejné v_c . U materiálu B a materiálu C byly provedeny 4 řezy na totožném průměru polotovaru při různých v_c , a dále byl postup měření totožný jako u materiálu A. Hloubka řezu $a_p=2\text{mm}$ a posuv na otáčku $f=0,15\text{mm}$ byly v celém experimentu konstantní. Řezná rychlost byla limitována max. ot. stroje $n_{\max}=2000$ [ot./min], a omezením sklíčidla $n_{\max}=1800$ [ot./min]. Řezné parametry pro všechny zkoušené materiály jsou uvedeny v tabulkách (6.1, 6.2, 6.3).

Tab. 6.1 Tabulka řezných podmínek pro materiál A – 13 781

Č. řezu	ØD [mm]	Hloubka řezu a_p [mm]	Délka řezu L [mm]	Posuv f [mm/ot.]	Otáčky n [ot./min]	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]
1	95	2	103	0,15	800	239
2	95		82		630	188
3	95		100		500	149
4	95		100		400	119
5	95		102		1000	298
6	95		73		1250	373
7	95		67		1600	478
8	92		290		1000	289
9	92		288		1000	289
10	88		286		1000	276
11	84		285		1000	264
12	80		283		1000	251
13	76		281		1250	298
14	72		280		1250	283
15	68		279		1250	267
16	64		278		1250	251
17	60		277		1250	236
18	56		276		1250	220
19	52		274		1600	261
20	48		273		1600	241
21	44		272		1600	221
22	40		270		1600	201
23	36		268		1600	181
24	32		267		1600	161
25	91		285		1000	286
26	87		284		1000	273
27	83		283		1000	261
28	79		282		1000	248
29	75		281		1250	295
30	71		280		1250	279
31	67		279		1250	263
32	63		278		1250	247
33	59		277		1250	232
34	55		276		1250	216
35	51		275		1600	256
36	47		274		1600	236
37	43		273		1600	216
38	39		272		1600	196
39	35		271		1600	176
40	31		270		1600	156

Tab. 6.2 Tabulka řezných podmínek pro materiál B – 13 985

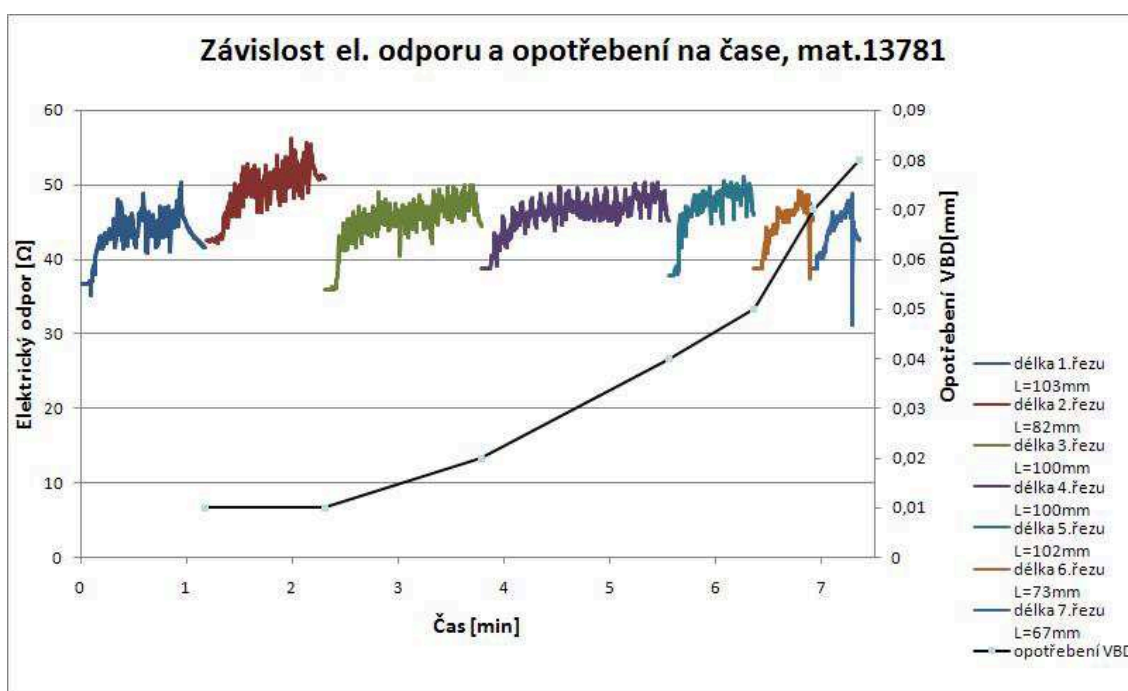
Č. řezu	ØD [mm]	Hloubka řezu a_p [mm]	Délka řezu L [mm]	Posuv f [mm/ot.]	Otáčky n [ot./min]	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]
1	97	2	105	0,15	400	122
2	97		95		500	152
3	97		82		630	192
4	93		282		800	234
5	89		280		1000	280
6	85		279		1000	267
7	81		278		1000	254
8	77		277		1250	302
9	73		276		1250	287
10	69		276		1250	271
11	65		275		1250	255
12	61		274		1250	240
13	57		274		1250	224
14	53		272		1600	266
15	49		270		1600	246

Tab. 6.3 Tabulka řezných podmínek pro materiál C – 13 864

Č. řezu	ØD [mm]	Hloubka řezu a_p [mm]	Délka řezu L [mm]	Posuv f [mm/ot.]	Otáčky n [ot./min]	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]
1	96	2	125	0,15	400	121
2	96		125		500	151
3	92		143		630	182
4	92		143		800	231
5	88		284		1000	276
6	84		282		1000	264
7	80		282		1000	251
8	76		281		1250	298
9	72		280		1250	283
10	68		280		1250	267
11	64		278		1250	251
12	60		277		1250	236
13	56		276		1250	220
14	52		275		1600	261
15	48		275		1600	241
16	44		274		1600	221
17	40		272		1600	201

6.2 Materiál A – ocel 13 781

Na materiálu A bylo hranou č.2 VBD provedeno celkem 40 řezů a z toho u prvních 7 řezů byla po každém řezu nezávisle měněna řezná rychlost. Na obrázku 6.1 můžeme pozorovat u těchto řezů závislost elektrického odporu a opotřebení na čase. Barevně jsou znázorněny elektrické odpory jednotlivých řezů a černou barvou je znázorněno opotřebení v závislosti na čase. Na obrázku je viditelný pozvolný nárůst elektrického odporu a také pozvolně rostoucí opotřebení VBD. Elektrický odpor se choval standardně jako při obrábění s dodržováním stejných řezných rychlostí.

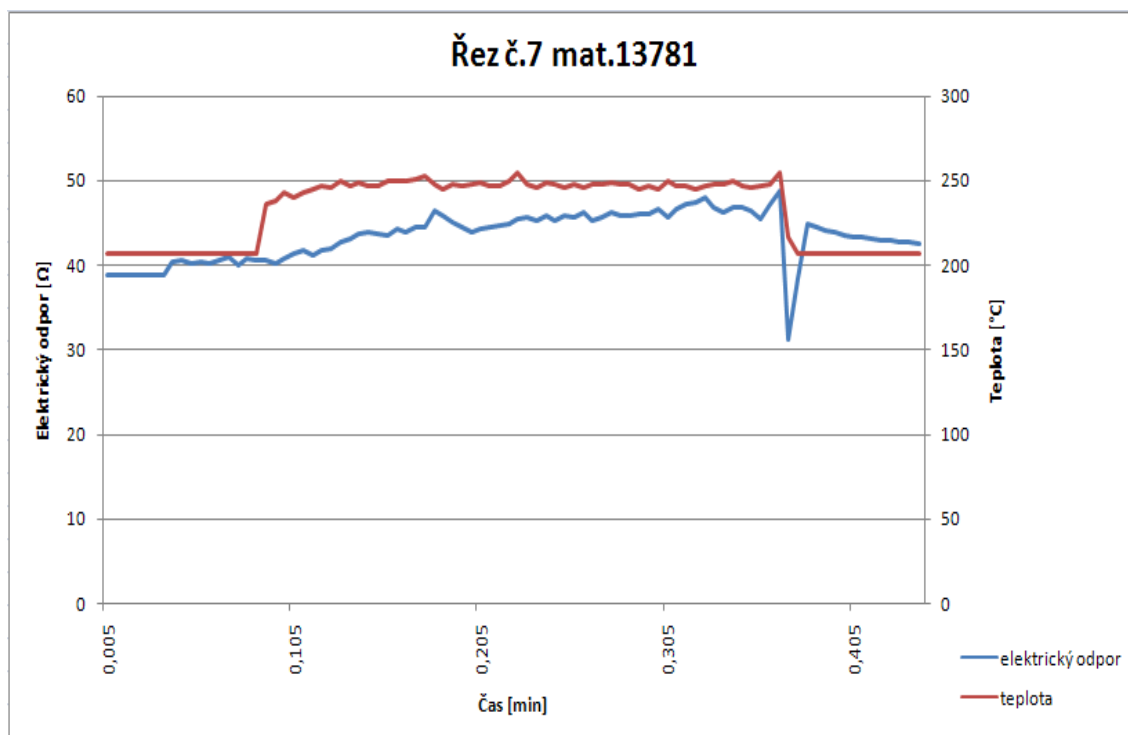


Obr. 6.1 Závislost odporu a opotřebení na čase při různé řezné rychlosti viz. Tab.6.1 ($v_c=119-478 \text{ m.min}^{-1}$; $f=0,15 \text{ mm}$; $a_p=2 \text{ mm}$)

Tab. 6.1 Použitá řezná rychlost u řezů 1-7, materiál - A

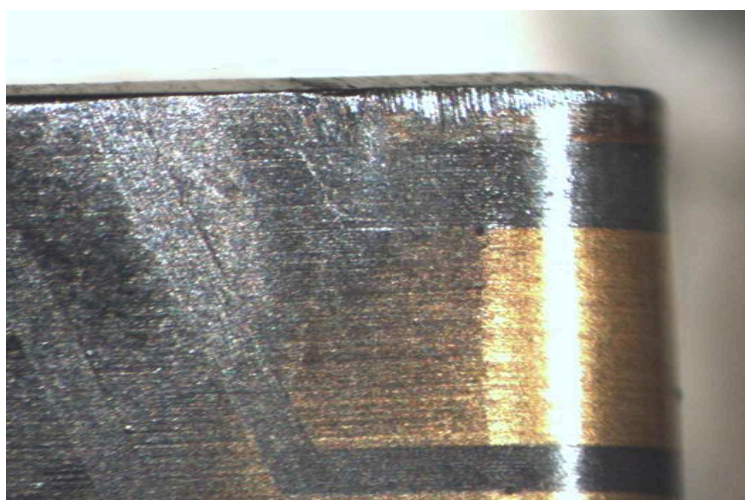
Č. řezu	1	2	3	4	5	6	7
Řezná rychlost [m.min^{-1}]	239	188	149	119	298	373	478

Na obrázku 6.2 můžeme pozorovat grafické znázornění elektrického odporu a teploty na čase. Teplota byla v grafu vynesena z důvodu lepší orientace, kdy byl nástroj v řezu. El. odpor dosahoval při obrábění hodnot $R=(45\pm 5)\Omega$. Na konci obrábění každého řezu je viditelný výkmit hodnot měřeného elektrického odporu, který objasňuje rovnice (4.2) závislost el. odporu na teplotě.



*Obr. 6.2 Grafické znázornění řezu č.7 na materiálu - A
($vc=478 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$; $f=0,15 \text{ mm}$; $ap=2 \text{ mm}$)*

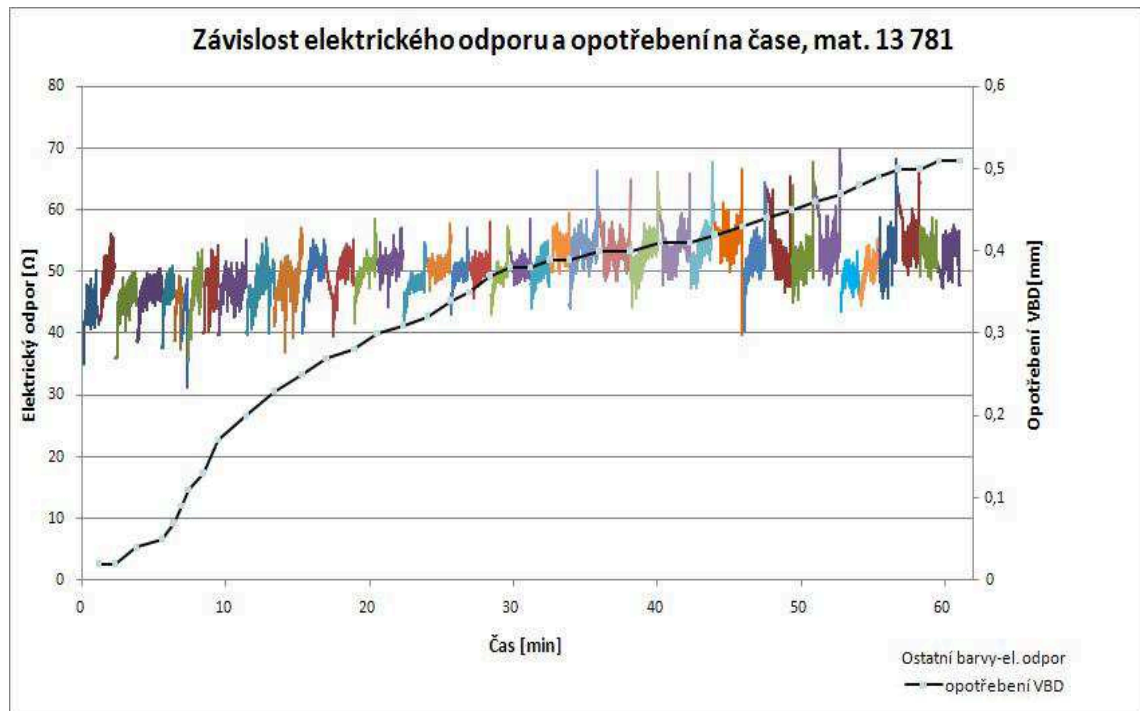
Na obr. 6.3 je vidět opotřebení na hřbetu nástroje, postupně se zužoval průřez nanesené odporové vrstvy. Fotka byla pořízena po řezu č.32. Nástroj do téhle chvíle urazil 7,6 metru a byl v řezu 44,8 minut.



Obr. 6.3 Opotřebení hřbetu nástroje po 32. řezu mat. 13781

Na obrázku 6.4 jsou barevně znázorněny všechny řezy při soustružení materiálu 13 781. V grafu jde vidět stoupající tendence elektrického odporu, po prvním řezu byl

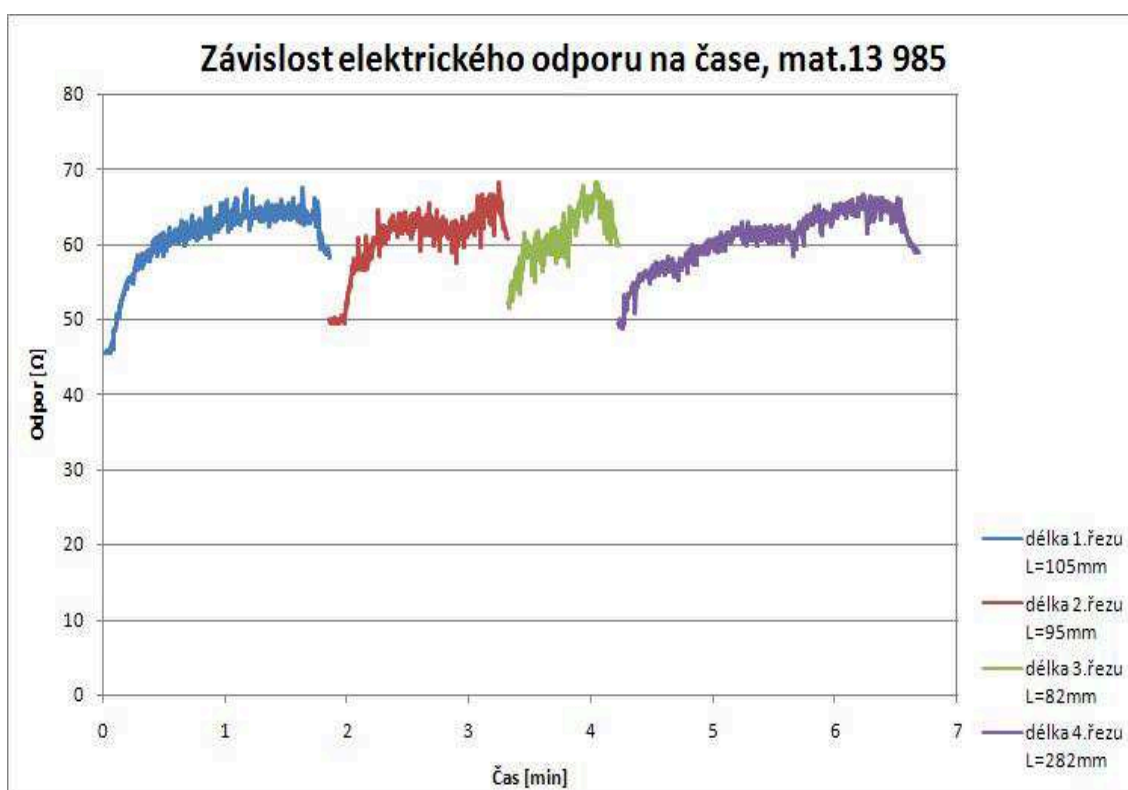
el. odpor $R=(43\pm 5)\Omega$ a u posledního řezu dosahoval odpor hodnot $R=(50\pm 5)\Omega$. Z důvodu nedostatku materiálu se nedosáhlo stanovené kritické hodnoty opotřebení, která byla stanovena velikostí průřezu nanesené odporové vrstvy. Časy uvedené v grafu jsou i se strojními přejezdy. Nástroj byl v řezu 54min a obrobil 10,06 m.



Obr. 6.4 Závislost el. odporu a opotřebení na čase při jednotlivých řezech, mat.13781
($vc=119-478\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$; $f=0,15\text{ mm}$; $ap=2\text{ mm}$)

6.3 Materiál B – ocel 13 985

Při obrábění na materiálu B se docílilo přerušení odporové vrstvy VBD na břitů č.3 již u čtrnáctého řezu. Na obr. 6.5 jsou graficky znázorněny první čtyři řezy, u kterých byla měněna řezná rychlost stejně jako u materiálu A. Z grafu nejsou patrné změny elektrického odporu při použití odlišných řezných rychlostí. Graf potvrdil nezávislost elektrického odporu na řezných rychlostech.



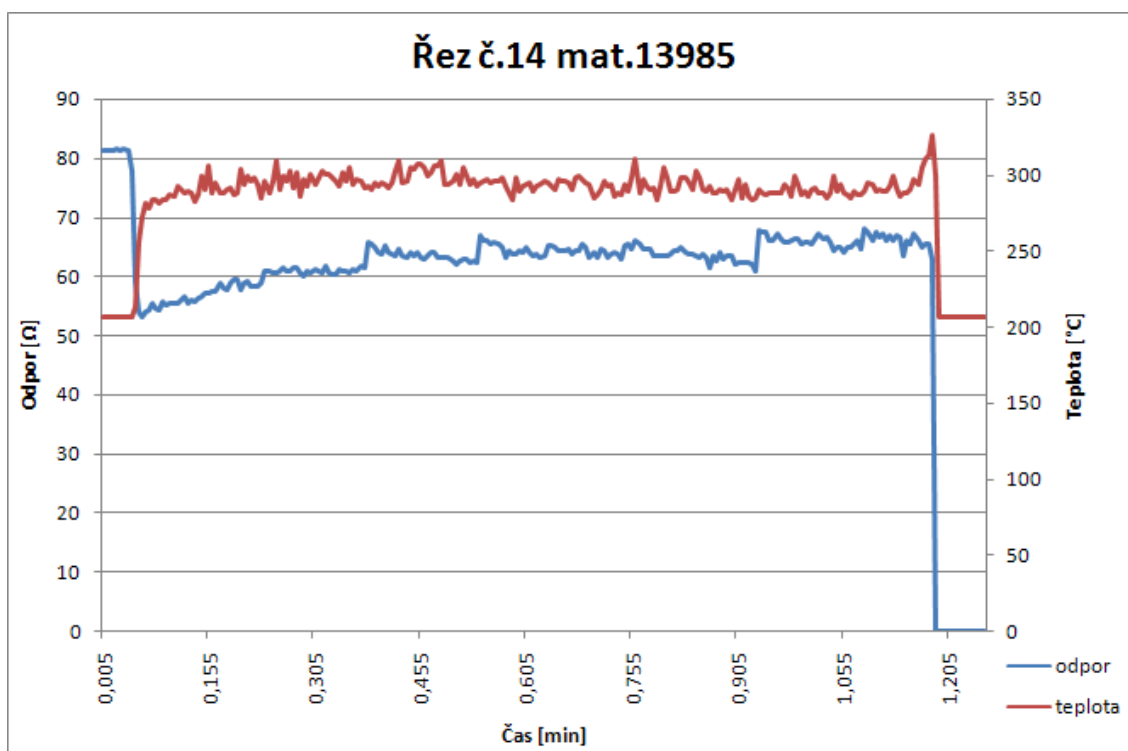
Obr. 6.5 Závislost elektrického odporu na čase při různé řezné rychlosti viz. Tab. 6.2
($v_c=122-234 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$; $f=0,15 \text{ mm}$; $a_p=2 \text{ mm}$)

Tab. 6.2 Použitá řezná rychlost u řezů 1-4, materiál - B

Č. řezu	1	2	3	4
Řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	121	152	192	234

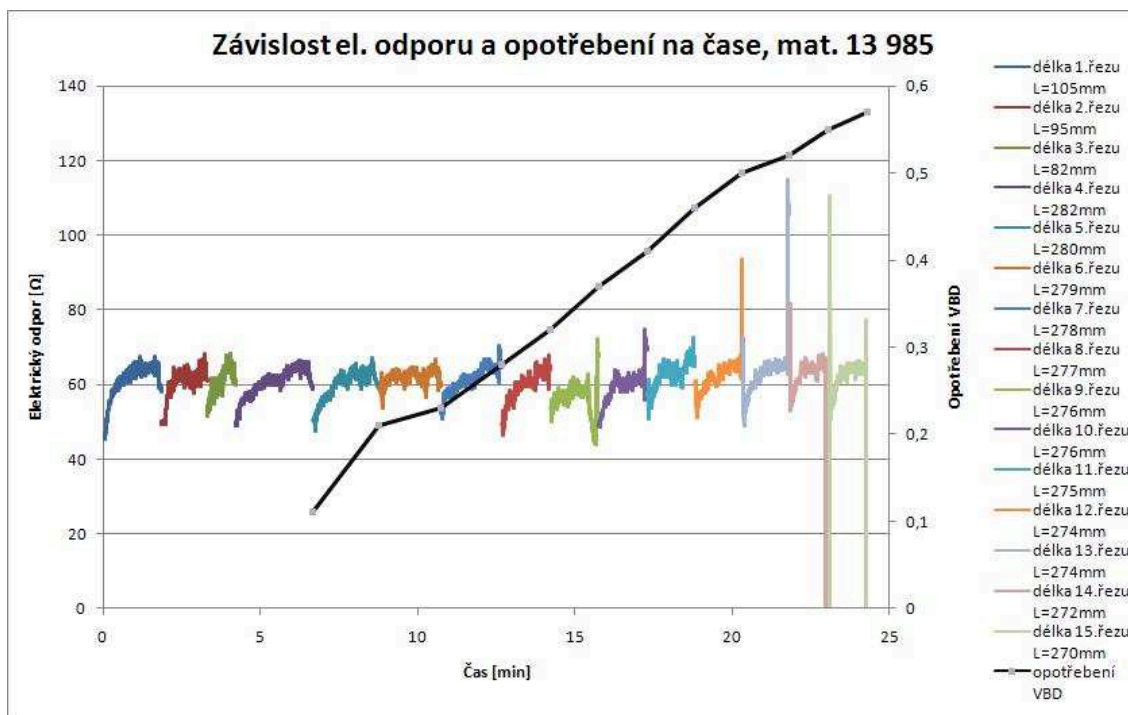
V grafickém znázornění po řezu č.14 (obr. 6.6) se před začátkem obrábění elektrický odpor pohyboval nad hodnotou 80Ω . Okamžitě při styku destičky s polotovarem elektrický odpor klesá na hodnotu 55Ω . Tento jev je způsobený stykem VBD destičky s polotovarem, což má za následek zvětšení průřezu nanesené odporové

vrstvy. Při procesu soustružení se hodnota odporu ustálí, a následně při najetí suportu na doraz a vyjetí destičky z řezu je již elektrický odpor nulový. Z toho vyplývá, že přerušení nanášené odporové vrstvy je možné zjistit až po vyjetí nástroje z řezu.



Obr. 6.6 Grafické znázornění řezu č.14 na materiálu - B
($v_c=266 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$; $f=0,15 \text{ mm}$; $a_p=2 \text{ mm}$)

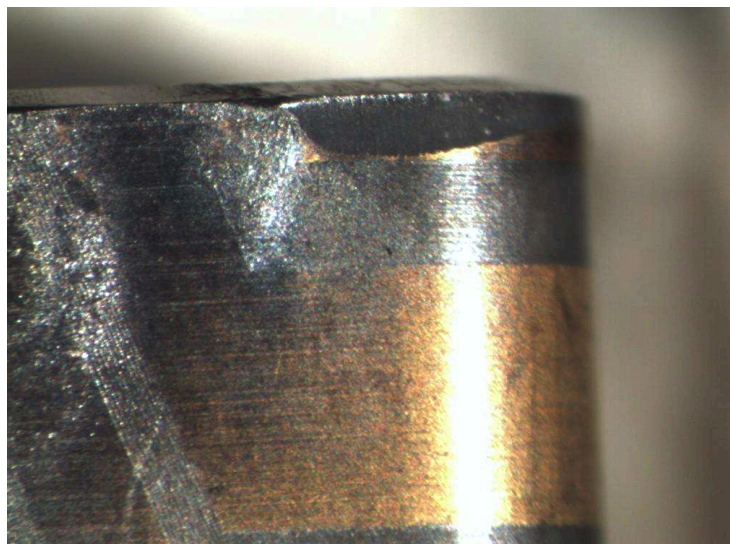
Celkový záznam elektrických odporů je barevně znázorněn na obr. 6.7. Odpor při jednotlivých řezích postupně stoupal, což bylo způsobené opotřebením VBD při kterém se zmenšoval průřez nanášené odporové vrstvy a zřejmě také vzrůstající teplotou odporové vrstvy. Výrazný nárůst výkmitů může být způsobený přerušením experimentu po 11. řezu a pokračování až následující den, změna teplot mohla mít nepříznivý vliv na nanášenou odporovou vrstvu. K cílenému kritickému opotřebení nástroje došlo v průběhu čtrnáctého řezu. Po vyjetí nástroje z řezu již el. odpor dosahoval nulových hodnot. Poslední řez byl proveden pro ověření, že po styku nástroje s polotovarem se přerušená odporová vrstva propojí a odpor nabývá hodnot podobných jako před přerušením. Z toho lze usoudit, že ke zjištění zda nástroj dosáhl stanovené kritické hodnoty která je dána plochou nanášené odporové vrstvy, je potřeba vyjetí nástroje z řezu.



Obr. 6.7 Závislost el. odporu a opotřebení na čase při jednotlivých řezech

($vc=122-302 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$; $f=0,15\text{mm}$; $ap=2\text{mm}$)

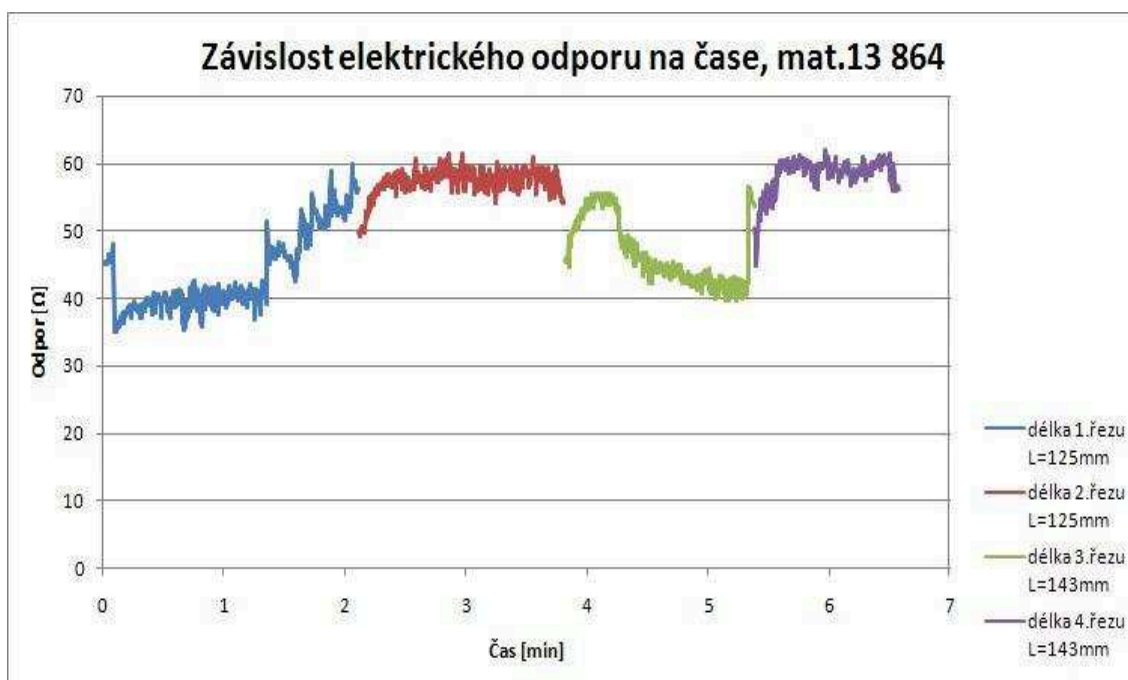
Opotřebení na hřbetu nástroje po třináctém řezu při obrábění materiálu 13 985 je znázorněno na obrázku 6.8. Nástroj do téhle chvíle obrobil 3,05 metru a byl v řezu 20,6 minut. Na obrázku je znatelný úbytek průřezu nanesené odporové vrstvy, což vedlo ke zvyšování el. odporu.



Obr. 6.8 Opotřebení VBD po 13.řezu mat.13 985

6.4 Materiál C – ocel 13 864

Stejně jako u předchozích materiálů se zpočátku experimentu ověřovala závislost elektrického odporu na řezné rychlosti. U třetího řezu se v průběhu obrábění vyskytl náhlý pokles elektrického odporu (obr. 6.9). Tato anomálie může být způsobena kvalitnějším stykem nanesené odporové vrstvy s obráběným povrchem součásti.

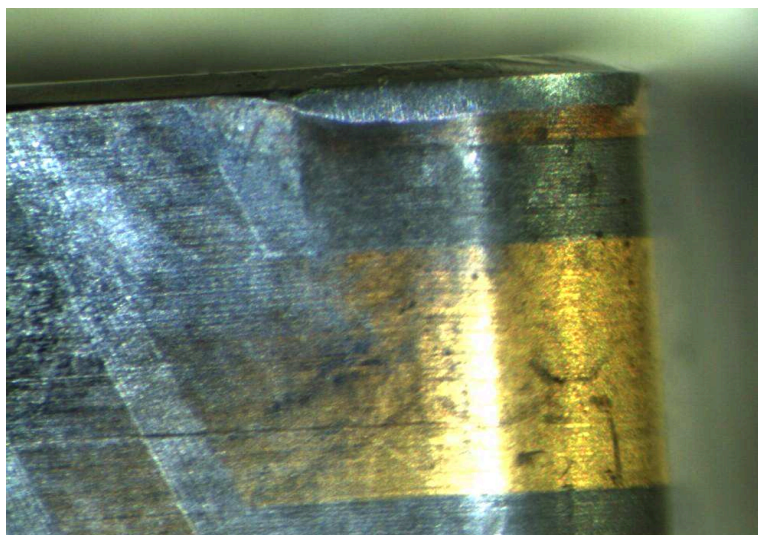


Obr. 6.9 Závislost el. odporu na čase při různé řezné rychlosti viz. Tab. 6.3

Tab. 6.3 Použitá řezná rychlost u řezů 1-4, materiál - C

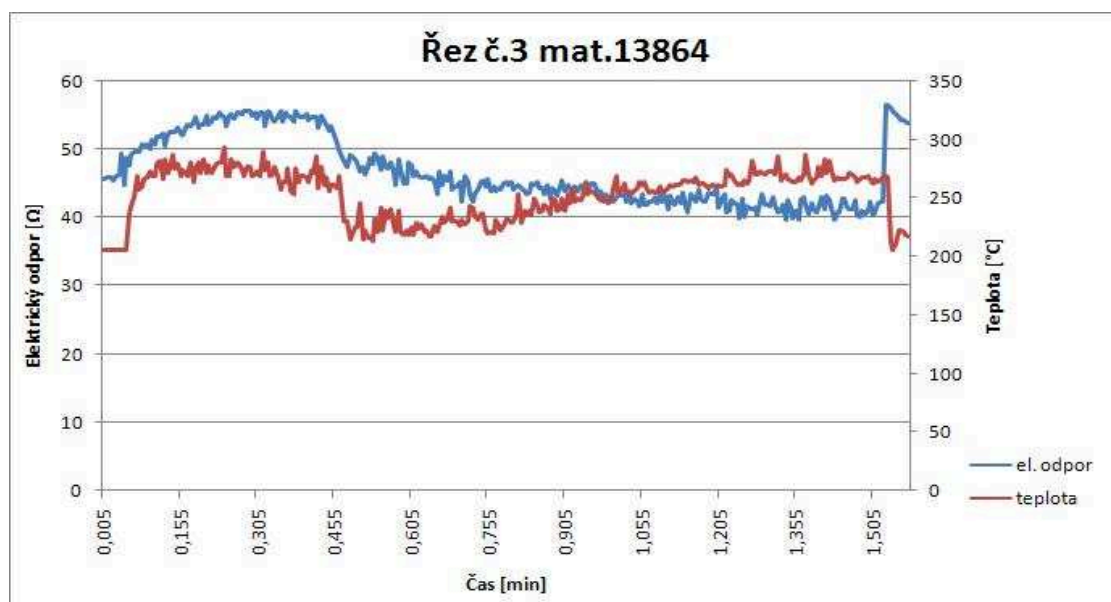
Č. řezu	1	2	3	4
Řezná rychlost [m.min ⁻¹]	121	152	192	234

Na obrázku 6.10 je vyfoceno opotřebení na hřbetu nástroje po osmém řezu při soustružení materiálu 13 864 na břitu destičky č.4. Nástroj do téhle chvíle obrobil 1,67metru a byl v řezu 13,6 minut.



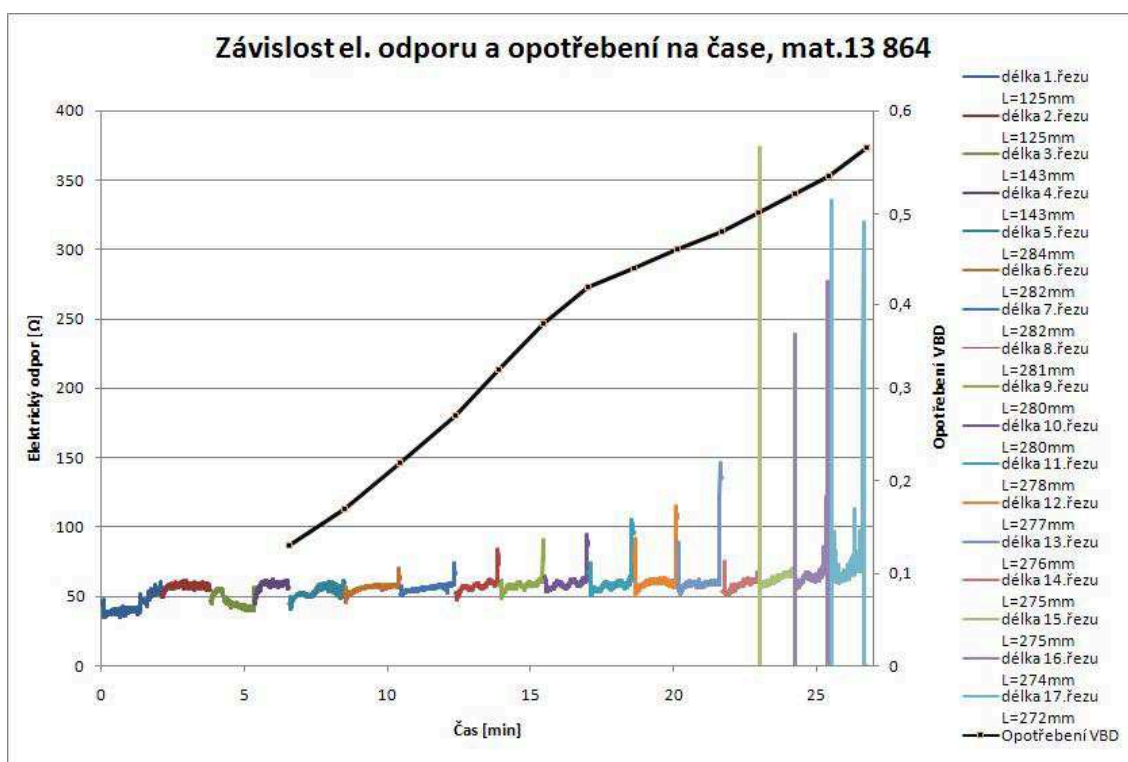
Obr. 6.10 Opatřebení VBD po 8.řezu mat.13 864

Při podrobnějším prozkoumání poklesu elektrického odporu při třetím řezu může být tato anomálie způsobená poklesem teploty (obr. 6.11). Závislost elektrického odporu na teplotě objasňuje rovnice (4.2). Při třetím řezu se obráběl $\varnothing D=97\text{mm}$ a byly nastaveny řezné podmínky: hloubka řezu $a_p=2\text{ mm}$; řezná rychlost $v_c=192\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$; posuv $f=0,15\text{mm}$.



Obr. 6.11 Grafické znázornění řezu č.3 na materiálu – C
($v_c=182\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$; $f=0,15\text{mm}$; $a_p=2\text{mm}$)

Průběh elektrických odporů při obrábění břitem č.4 je zobrazen na obr. 6.12, k přerušení odporové vrstvy bylo zapotřebí patnáct řezů. Nástroj byl 23minut v řezu a urazil vzdálenost 3,6 m. Stejně jako u předchozích materiálů je v grafu možno pozorovat pozvolný nárůst elektrického odporu, který byl způsobený zvyšujícím opotřebením nástroje. U řezů 15-17 již elektrický odpor po vyjetí z řezu dosahoval nulových hodnot, čímž bylo docíleno kritické hodnoty opotřebení nástroje. Se snižujícím se průřezem odporové vrstvy se začaly objevovat výkmity, které již u přerušené odporové vrstvy přesahovaly hodnotu el. odporu 300 ohmů.



Obr. 6.12 Závislost el. odporu a opotřebení na čase při jednotlivých řezech

($v_c=121-298 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$; $f=0,15 \text{ mm}$; $a_p=2 \text{ mm}$)

7 ZÁVĚR

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo sledování elektrického odporu pomocí záznamového zařízení a inteligentního nástroje z nitridické keramiky s nanesenou odporovou vrstvou. V první části experimentu se sledovala závislost elektrického odporu na různých řezných rychlostech. V další části se pak sledoval el. odpor při snaze dodržení konstantních řezných rychlostí. Experiment byl zaměřen na obrábění tří materiálů oceli třídy 13.

U materiálu A (ocel 13 781) byla v první části experimentu měněna řezná rychlost u prvních sedmi řezů v rozsahu $v_c=119-477\text{m.min}^{-1}$ aby se zjistilo chování elektrického odporu při těchto změnách. V této části se el. odpor choval standardně jako při pokračování v experimentu s dodržováním řezných podmínek ($v_c=155-298\text{m.min}^{-1}$; $f=0,15\text{mm}$; $a_p=2\text{mm}$). Experiment musel být přerušen důvodu nedostatku materiálu, nástroj obrobil 10,6 metru, byl v řezu 54 minut a stále nedošlo k cílenému kritickému opotřebení nástroje. Kritické opotřebení nástroje je dáno přerušením průřezu nanesené odporové vrstvy. Používanou destičku lze z výsledků měření doporučit pro obrábění oceli 13 781.

Řezná rychlost u materiálu B (ocel 13 985) byla měněna u řezů 1-4 v rozmezí $v_c=121-233\text{m.min}^{-1}$. Stejně jako u materiálu 13 781 změny řezných rychlostí nevykazovali závislost na elektrickém odporu. Při pokračování v experimentu s dodržení řezných rychlostí v rozmezí $v_c=246-302\text{m.min}^{-1}$ nebyly spatřeny žádné anomálie. Elektrický odpor měl rostoucí tendenci, což souvisí s opotřebením nástroje. Nástroj byl v řezu 22 min. a obrobil 3,5m. K přerušení odporové vrstvy došlo ve čtrnáctém řezu, čímž se dosáhlo stanovené kritické hodnoty opotřebení nástroje. Patnáctý řez byl proveden jen jako ověřovací, záznamové zařízení po propojení přerušené odporové vrstvy s obrobkem zase zaznamenávalo hodnoty el. odporu. Přerušení odporové vrstvy lze zjistit až po vyjetí nástroje z řezu.

Při testování posledního materiálu (ocel 13 864) došlo k přerušení odporové vrstvy v patnáctém řezu, po tuto dobu byl nástroj v řezu 23min. a obrobil 3,6m. Řezná rychlost pro první 4 řезы byla měněna v rozmezí $v_c=120-231\text{m.min}^{-1}$, při průběhu třetího řezu hodnota elektrického odporu klesala. Tato anomálie se nejspíše projevila důsledkem lepšího styku nástroje s polotovarem. U ostatních řezů byla po zbylou dobu experimentu dodržována $v_c=241-298\text{m.min}^{-1}$. Soustružení v 16.-17. řezu bylo prováděno již s přerušenou odporovou vrstvou.

Z výsledků naměřených hodnot lze doporučit VBD s nanesenou odporovou vrstvou k diagnostice kritéria opotřebení, které je dáno velikostí průřezu nanesené odporové vrstvy. Po dosažení stanoveného kritéria opotřebení (přerušení nanesené odporové vrstvy) měřící zařízení přestane zaznamenávat elektrický odpor a to ihned po vyjetí nástroje z řezu.

7.1 Doporučení pro další měření

Téma zabývající se sledováním nanesené odporové vrstvy lze doporučit i pro další měření. Tohle téma je velmi rozsáhlé, např. při testování s použitím procesní kapaliny nebo testování na přerušovaném řezu by mohl el. odpor vykazovat rozdílné vyhodnocení měření při porovnání s klasickým obráběním.

Použitá literatura:

- [1] AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ. *Příručka obrábění: kniha pro praktiky*. 1. české vyd. Překlad Miroslav Kudela. Praha: Scientia, c1997, 857 s. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [2] HUMÁR, Anton. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. 1. vyd. Brno: CCB, 1995, 265 s. ISBN 80-858-2510-4.
- [3] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM publishing, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-5.
- [4] JURKO, J., J. ZAJAC a R. ČEP. *Top trendy v obrábění: II. část- nástrojové materiály*. Žilina: Media/ST, 2006, 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [5] DINTER, Oskar. *Drcení a mletí nerostných surovin*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984, 241 s.
- [6] HRUBÝ, Jindřich. *Teorie obrábění*. 2. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1988, 213 s.
- [7] BILÍK, Oldřich. *Obrábění I*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Strojní fakulta, 2001, 136 s. ISBN 80-7078-811-9.
- [8] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [9] KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: CERM, 2005, 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
- [10] Nástrojové materiály: Opatření břitů. In: *Sandvik coromant* [online]. [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/technical_guide/materials/cutting_tool_materials/wear_on_cutting_edges/pages/default.aspx#
- [11] BILÍK, Oldřich. *Obrábění II. 1.díl: Fyzikálně mechanické zákonitosti procesu obrábění*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1994, 131 s. ISBN 70-7078-228-5.
- [12] VLČEK, Jiří. *Jednoduchá elektrotechnika: základní zapojení, odpor, kapacita, indukčnost*. 1. vyd. Praha: J. Vlček, 2005, 72 s.
- [13] HARICH, Ľubomír a Viliam PROGNER. *Elektrický odpor, kapacita a indukčnost*. Bratislava: Alfa, 1980, 150 s.

Poděkování:

Rád bych zde poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Kratochvílovi, Ph.D. za jeho cenné rady a čas strávený konzultacemi. Dále bych rád poděkoval VŠB-TU Ostrava za poskytnutí strojů a přístrojů pomocí níž byl tento experiment uskutečněn. Také bych chtěl poděkovat mé rodině a přátelům za podporu během studia.